

孤岛油田聚合物驱油技术 应用实践

张绍东 著

中国石化出版社

孤岛油田聚合物驱油技术 应用实践

张绍东 著

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

孤岛油田聚合物驱油技术应用实践/张绍东著.
—北京:中国石化出版社,2005
ISBN 7-80164-887-0

I. 孤… II. 张… III. 高聚物-化学驱油-研究
IV. TE357.46

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 095649 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

河北天普润印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

850×1168 毫米 32 开本 7 印张 185 千字

2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷

定价:25.00 元

前 言

聚合物驱是指向油藏中注入高相对分子质量的水溶性聚合物溶液的驱油方法，是三次采油的方法之一。根据油藏工程原理，要提高原油采收率，其途径只能是通过提高驱替相波及体积或驱油效率来实现。而聚合物驱主要是通过注入一定规模的聚合物溶液段塞，增加驱替液粘度、降低油层水相渗透率来降低流度比、调整吸水剖面，以达到提高驱替相波及体积的目的。聚合物驱始于 20 世纪 50 年代末和 60 年代初。美国在 1964 ~ 1969 年间，进行了 61 个聚合物驱项目，从 70 年代到 1985 年，共进行了 183 个聚合物驱项目，都取得了明显的经济效益。除美国之外，前苏联的奥尔良油田、阿尔兰油田，加拿大的 Horsefly Lake 油田、Rapdan 油田，法国的 Chatcairenard 油田，以及德国、阿曼都进行了聚合物驱工业化试验。

根据调查，全世界已有 200 多个油田或区块进行过聚合物驱油试验或应用，平均提高采收率 14%。尽管由于油价因素，一些国家减少了这项技术应用，但作为技术储备，世界各国对该技术的研究始终没有停止，近年来，聚合物驱的研究和应用成果很多，促进了这一技术的发展。

孤岛油田是 20 世纪 70 年代投入注水开发的老油田，孤岛油田聚合物驱油试验始于 20 世纪 90 年代初，是胜利油田最早开展聚合物驱油先导试验和工业化应用的油田，从聚合物驱油方法提出到目前先后经历了机理研究与驱油体系设计、方案研究与现场先导性试验及大面积工业化应用几个阶段。截止目前孤岛油田已实施注聚项目 14 个，（其中已转后续水驱项目 8 个、正注聚项目 6 个），覆盖地质储量 $1.66 \times 10^8 \text{t}$ ，占孤岛油田储量的 42.5%，日产油水平 5800t，占孤岛油田产量的 54.4%。近十年来，聚合物驱油已成为油田增储上产的重要手段。目前，孤岛油田所实施的注聚区块年增油已达到 $100 \times 10^4 \text{t}$ 以上。

随着注聚单元逐渐转入后续水驱，含水开始回返，产量进入快速递减阶段，而注聚后仍有 50% ~ 60% 的原油存留在地层中。为了抑制产量的快速下降，虽然已开展注聚后注磺酸盐试验、注聚合物再利用剂试验，但效果均不理想。孤岛油田正在进行的聚合物驱单元均为二类油藏，驱油效果明显不如一类油藏，随着注聚储量品位降低，一类油藏聚合物驱油技术对二类油藏有些是不适应的。经初步估算孤岛油田还有 $7000 \times 10^4 \text{t}$ 二类油藏需要进行注聚合物驱。

本书以孤岛油田聚合物驱油技术的应用实践为基础，详细介绍了国内外聚合物驱油应用现状，孤岛油田聚合物驱适应性分析，孤岛油田聚合物方案设计与实施、形成的技术成果，聚合物驱油技术新进展以及聚合物驱后进一步提高采收率技术探索，对今后聚合物驱油及聚合物驱后进一步提高采收率技术具有借鉴意义，同时该书对从事油田开发的领导、科研技术人员和生产管理人员也有重要的参考价值。

目 录

第一章 国内外油田聚合物驱油应用现状	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 国内油田聚合物驱技术的应用水平	(2)
第三节 国外油田聚合物驱技术的应用水平	(3)
第二章 孤岛油田聚合物驱适应性分析	(10)
第一节 孤岛油田的油藏特征	(10)
第二节 孤岛油田聚合物驱油微观实验研究	(13)
第三节 孤岛油田聚合物驱油适应性分析	(19)
第三章 孤岛油田聚合物驱油方案设计	(23)
第一节 孤岛油田中一区 Ng3 聚合物驱先导试验方案	(23)
第二节 孤岛油田中一区 Ng5、Ng6 及 Ng3 西北部聚合物驱方案 ..	(52)
第三节 孤岛油田中二南 Ng3~5 和中二中 Ng3~4 单元聚合物驱方案	(77)
第四节 孤岛油田中二中 Ng3~5 聚合物驱方案	(87)
第四章 孤岛油田聚合物驱油效果	(108)
第一节 孤岛油田聚合物驱油实施历程	(108)
第二节 聚合物驱油效果分析	(108)
第三节 孤岛油田聚合物驱油形成的技术成果	(112)
第四节 孤岛油田聚合物驱油存在的问题	(115)
第五节 孤岛油田聚合物驱技术的改进	(121)
第五章 聚合物驱油技术新进展	(136)
第一节 高温、高盐油藏聚合物驱油技术	(136)
第二节 聚合物驱后提高采收率技术	(153)
第六章 孤岛油田注聚合物驱后进一步提高采收率 技术探索	(188)
第一节 孤岛油田注聚合物驱后进一步提高采收率技术 探索方向及依据	(188)
第二节 进一步提高采收率技术探索应用实例及效果分析	(191)
第七章 认识与下步发展方向	(200)
附：国外聚合物驱油田开采实例	(204)
参考文献	(216)

第一章 国内外油田聚合物驱油应用现状

第一节 概 述

据美国《油气杂志》统计，目前全世界正在生产的聚合物驱项目有 32 个，其中美国 10 个，法国 1 个，德国 2 个，印尼 1 个。从世界范围的聚合物驱应用情况看，各个国家的聚合物驱项目数都有不同程度的减少。

美国曾是聚合物驱项目数最多的国家，其聚合物驱三次采油在 1986 年达到鼎盛。后来由于受到油价下跌的冲击，其项目数量逐年较少(见表 1-1)。

表 1-1 美国 1984~1998 年各年度实施的提高采收率项目数及采油量(10^4m^3)

EOR 方法		1984	1986	1988	1990	1992	1994	1996	1998	2000
蒸汽驱	项目数	133	181	133	137	119	109	105	92	80
	产油量	2115	2720	2643	2578	2635	2413	2434	2548	2424
聚合物	项目数	138	206	124	50	49	30	12	11	10
	产油量	77.7	98.1	130.6	68.8	12.8	11	0.8	0.8	9.3
CO ₂ 混相	项目数	58	66	57	56	54	55	61	66	64
	产油量	156.1	172.9	375	555.3	841.9	937.2	990.7	1039	1100

前苏联早在 20 世纪 60 年代中期就开始在一些油田注聚合物水溶液驱油，如奥尔良、阿尔兰、罗马什金、撒拔钦、索斯诺夫、梅实基诺和卡拉姆卡斯科等大油田均实施过聚合物驱，其增油效果分别为 1832、104、233、235、42 和 190t 油/t 聚合物。最大采收率增加值达 10%~13%。

据初步统计，全世界已有 200 多个油田或区块进行过聚合物驱油试验或应用。尽管由于油价因素，一些国家减少了这项技术

应用，但作为技术储备，世界各国对该技术的研究始终没有停止。随着研究的不断深入，各类聚合物的性能不断改进，生产工艺不断更新，适用范围不断扩大，成本也随之下降，注聚的工艺技术水平也大大提高。

目前，我国已成为聚合物驱技术应用最广泛的国家，聚合物驱已形成综合配套技术，成为我国三次采油的主要技术。大庆油田、胜利油田、辽河油田、新疆油田、大港油田、河南油田和吉林油田等都先后实施了聚合物驱采油项目。其中，大庆油田在2003年聚合物驱的原油产量达到 $1000 \times 10^4 \text{t}$ 以上，成为我国聚合物驱产量最大的油田，聚合物驱提高原油采收率幅度达到了13%~14%。另外，大庆还开展了5个三元复合驱的矿场试验，其实际采收率均高于预测值，达20%以上。胜利油田截止2005年5月已有聚合物驱项目27个，覆盖地质储量 $2.94 \times 10^8 \text{t}$ ，占油田动用储量的8%，单元的日产油水平10162t，占胜利油田的14%，年增油 $160 \times 10^4 \text{t}$ ，累积增油已超过 $1000 \times 10^4 \text{t}$ ，27个项目已整体提高采收率3.3%，预计增加可采储量 $2156 \times 10^4 \text{t}$ ，提高采收率7.3%。

第二节 国内油田聚合物驱技术的应用水平

中国陆上油田采用常规注水方法开发，平均采收率只有33%左右，约有三分之二的储量将留在地下。中国国民经济的迅速发展对石油能源的需求日益增长，而石油勘探的难度不断增加，因此，如何进一步提高已发现油田的采收率日趋重要。自20世纪50年代以来，中国石油工业十分重视提高采收率技术(EOR)的研究和应用，取得了显著的成绩。聚合物驱技术经“七五”以来的攻关研究已经历了先导试验阶段，工业性试验阶段，最终发展到大规模推广应用的阶段，逐步发展成为一种较为成熟的提高采收率技术。1999年聚合物驱产油量已超过 $800 \times 10^6 \text{t}$ ，展现了该方法的广阔应用前景，室内研究和矿场试验都取得了令

人鼓舞的良好结果。

大庆油田自 1996 年起在一部分区块上推广应用聚合物驱油技术以来,已取得明显的技术经济效益。截止 2004 年底,聚合物驱油区块达到 14 个,所包含的面积为 143.44km^2 ,地质储量 $2.569 \times 10^8\text{t}$,油水井总数 2368 口,其中注入井 1094 口,生产井 1274 口。自 1996 年以来,聚合物驱产油量每年都以近 $3.0 \times 10^6\text{t}$ 的幅度上升,1998 和 1999 年聚驱年产油量达到 $8.0 \times 10^6\text{t}$ 以上,2005 年超过 $10.0 \times 10^6\text{t}$,占全油田总产量的 14%。

胜利油田从 1992 年开始在孤岛油田开展了聚合物驱油先导试验,1994 年在孤岛油田和孤东油田开展了聚合物驱油扩大试验,1997 年进行了工业化推广应用,均取得了明显的降水增油效果。截止目前共实施聚合物驱项目 27 个,覆盖地质储量 $2.94 \times 10^8\text{t}$,占油田动用储量的 8%,单元的日产油水平 10162t ,占胜利油田的 14%,年增油 $160 \times 10^4\text{t}$,累积增油已超过 $1000 \times 10^4\text{t}$,27 个项目已整体提高采收率 3.3%,主力单元达到 8% ~ 10%,平均吨聚增油 40t,主力单元达到 80 ~ 100t。预计增加可采储量 $2156 \times 10^4\text{t}$,提高采收率 7.3%。“十五”期间,孤岛、孤东、胜坨、飞雁滩油田增加可采储量 $1198 \times 10^4\text{t}$,其中聚合物驱增加可采储量 $370 \times 10^4\text{t}$,占 31%。

第三节 国外油田聚合物驱技术的应用水平

F.E.DeBons 等人 1995 年对世界范围的聚合物驱项目的设计及实施效果进行了分析,表 1-2 列出了世界上十二个聚合物驱项目的位置、开始时间、油藏和流体拓性,以及每个聚合物驱项目所使用的聚合物类型。

12 个聚合物驱项目都是在适中的油藏温度 ($< 60^\circ\text{C}$) 下进行的。其中的 11 个是在相对高渗透率、高孔隙度 ($> 26\%$) 砂岩油藏下进行的。油藏矿化度范围由法国的清水到德国的高矿化度水。10 个项目的注入水矿化度相对较低,使用的是部分水解聚

丙烯酰胺(HPAM)，两个高矿化度区，选择的聚饱和物为磺原胶。

表 1-2 聚合物驱项目概况

项 目	国家	日期	温度/ ℃	平均 K_m / μm^2	$\Phi/\%$	矿化度/(g/L)		聚合物类型
						油藏	注入水	
Derrel, 中块	德国	1975	58	0.1 ~ 4	26	167	清水	HPAM, 乳液
Hankensbuettel, 西块	德国	1977	58	2 ~ 4	28	176	清水	HPAM, 乳液
Oerrel, 西块	德国	1980	58	0.1 ~ 4	26	167	清水	HPAM, 乳液
Courtenay, 先导试验	法国	1985	30	2	30	0.4	0.4	HPAM, 乳液
Eddes5e—Nord	德国	1985	22	L	26	120	50	黄原胶
Marmul	阿曼	1986	46	> 10	> 30	3	0.6	HPAM, 乳液
大港	中国	1986	51	0.72	31	6		HPAM, 干粉
Rapdan	加拿大	1986	55	0.114	18	6	1.5	HPAM, 乳液
Courtenay, 扩大区	法国	1989	30	2	30	0.4	0.4	HPAM, 乳液
大庆, P0	中国	1990	45	1.4	30	7	1	HPAM, 干粉
大庆, PT	中国	1990	45	3.8	29	7	1	HPAM, 干粉
Matzen	奥地利	1992	52	0.5 ~ 0.3	28	26	22	磺原胶

表 1-3 总结了 12 个试验中聚合物用量、产油量、开始聚合物驱时的含油饱和度、原油粘度和初始聚合物溶液的粘度等参数。因为聚合物项目所使用的聚合物浓度和注入方式不同，所以，对比它们的方式就是以聚合物总量为基础。这个量是以注入的聚合物溶液体积来计算的，以孔隙体积(PV)为分数表示，聚合物的有效浓度以 10^{-6} 为单位表示。为便于对比，1980 ~ 1992 年在美国实施的聚合物驱的平均采油量与聚合物用量也列于表 1-3。

12 个项目中有 3 项未完成：Rapdan、Matzen 和 Courtenay 扩大试验区。表 1-3 分别给出了它们的最终采收率(OOIP)计算值和截至到 1994 年 5 月的采收率值。表 1-3 中原油采收率增值范围从 6% ~ 52%，均达到了设计要求。

据 F.E.DeBons 等人对项目的分析研究表明，聚合物驱除增产大量的原油以外，还在以下方面发挥了重要作用，包括：增加

了扫油面积和纵向波及体积；降低产水量；加快采油速度；改善水驱后的最终含油饱和度；通过减小获得给定含水率所需的时间、缩短开采时间；利用注聚合物层的粘滞阻塞效果，重新分配驱替区域；重新建立油藏压力场等。

表 1-3 聚合物驱项目设计及结果

项 目	聚合物用量/(PV $\times 10^{-6}$)	采油量及效果			开始聚合物驱 S_0	原油粘度/ (mPa·s)	初始聚合物粘度/ (mPa·s)
		桶油/英亩·英尺	OOIP/%	桶油/磅聚合物			
Oerrel, 中块	229	417	23.5	2.58	0.708	19	20
Hankensbuettel, 西块 4	541	332	17	1.16	0.575	13	20
Oerrel, 西块	729	236	12.5	0.54	0.569	17	20
Courtenay, 先导试验	642	752	52	1.42	0.439	40	21
Eddesse - Nord	342	92	5.9	0.33	0.513	7	12
Marmul	630	553	30	1.06	0.705	80	15
大港	123	113	7.7	1.06	0.471	20	20
Rapdan	294	[96]	[10.6]	[0.67]	0.527	10	12
Courtenay, 扩大区	639	(195)	(12)	(0.38)	0.545	40	21
大庆, PO	504	335	14	0.8		9.5	18
大庆, PT	491	264	11.6	0.69		9.5	18
Matzen	360	[98]	[8]	[3.6]	0.495	13	12.7
美国平均	46	20.5	4.9	1.1			

注：[] 试验结果，() 到 1994 年 5 月。

表 1-4 为 12 个项目的聚合物用量和驱替结果的数据统计。聚合物的总量以干粉重量为单位，与总采收率增值一起，揭示了试验的相对大小，并能够区分出是小试验还是区域试验。大多数项目使用了聚合物浓度递减段塞。表 1-4 还给出了最大聚合物浓度段塞。

表 1-5 为 12 个项目实施聚合物驱前的含油饱和度及采收率变化的统计结果，反映了采收率增值与初始含油饱和度的关系。 S_0 是不同的矿场开发阶段中计算的含油饱和度，最后一项是聚合物驱后的含油饱和度变化值。

表 1-4 聚合物利用率及采收率

		Oerrel 中块	Oerrel 西块	Hankens buettel	Courtenav 先导 试验	Courtenay 扩大 试验	Eddesse Nord	Marmu I	Rap- dan	大港	大庆 PO	大庆 PT	Mat- zen
聚合物用量	10 ⁶ 磅/英 亩英尺	172	3210	977	84	902	21	333	2953	370	355	630	255
		162	525	287	530	521	243	513	144	107	420	409	275
	最大浓 度/ (mg/L)	1500	1800	2000	1000	900	1000	1000	1500	1500	835	916	1200
	平均浓 度/ (mg/L)	1092	1350	1320	790	636	610	1000	588	845	756	852	1200
	注入量/ (PV· mg/L)	229	729	541	642	639	342	630	294	123	504	491	360
采油量	10 ⁶ 桶	443	1442	1133	119	(338)	8	358	[1969]	392	284	437	[943]
	桶油/ 英亩 英尺	417	236	332	752	(185)	92	553	[96]	113	335	284	[98]
	桶油/ 磅聚 合物	2.58	0.45	1.16	1.42	(0.37)	0.38	1.08	0.67	1.06	0.8	0.69	[3.57]

注:[]试验结果,()到 1994 年 5 月。

Courtenay 项目聚合物驱之前,没有进行水驱,项目开始时的含油饱和度(0.439)比其他任何项目的都低,但采收率却很高,其增量中的一部分油,可能产于试验区外部,或者 OOIP 不准确。

表 1-5 中的数据说明,聚合物驱提高了总的矿场采收率,十分之六的现场试验大于 50% OOIP。这要比大约 33% OOIP 的平均现场采收率要好得多。

美国的聚合物驱与其他国家的聚合物驱在设计上有些差异,主要表现在聚合物的用量上。美国 1960~1982 年的 226 个聚合物驱工程项目,其注入量平均为 19.2 磅/英亩·英尺($7.07 \text{ PV} \times 10^{-6}$),而 1980~1989 年期间的 99 个项目增加至 32 磅/英亩·英尺($11.78 \text{ PV} \times 10^{-6}$),1990 年以后的项目增加到 150 磅/英亩·英尺($55.21 \text{ PV} \times 10^{-6}$),增产油量为早期的 10 倍。表 1-6 为美国

Minnelusa 油田 31 个区块聚合物驱的综合统计表。

表 1-5 原油采收率与含油饱和度的对比

	Oerrel 中块		Oerrel 西块		Hankensbuettel 西块 4		Courtenay 先导试验		Courtenay 扩大试验	
	%OOIP	So	%OOIP	So	%OOIP	So	%OOIP	So	%OOIP	So
OOIP	100	0.880	100	0.917	100	0.90	100	0.626	100	0.700
P + WF (PF 开始时)	19.5	0.708	38	0.569	36	0.576	30	0.439	22	0.545
P + WF (最终)	24.3	0.666	43	0.523	48	0.468			36	0.445
P + WF + PF (最终)	47.8	0.459	55.5	0.408	65	0.315	82	0.112	67	0.231
		ΔS_o		ΔS_o		ΔS_o		ΔS_o		ΔS_o
PF 增量	23.5	0.207	12.5	0.115	17	0.153	52	0.327	(12)	(0.084)
	Eddesse Nord		Marmul		大港		Rapdan		Matzen	
	%OOIP	So	%OOIP	So	%OOIP	So	%OOIP	So	%OOIP	So
OOIP	100	0.771	100	0.792	100	0.616	100	0.648	100	0.639
P + WF (PF 开始时)	33.4	0.513	11	0.705	23.5	0.471	18.7	0.527	22.5	0.495
P + WF (最终)	45.3	0.422	15	0.594	30.8	0.426	31.8	0.445	25	0.479
P + WF + PF (最终)	51.2	0.376	55	0.356	38.4	0.379	41.9	0.376	33	0.428
		ΔS_o		ΔS_o		ΔS_o		ΔS_o		ΔS_o
PF 增量	5.9	0.046	30	0.238	7.7	0.047	[10.6]	[0.069]	[8]	[0.051]

表 1-6 Minnelusa 油田不同区块聚合物驱统计表(截至 1989 年 3 月)

项 目	原油相 对密度	孔隙 度/ %	地质储 量/ 千桶	累产 油/ 千桶	累产 水/ 千桶	水油比	开始注 聚时间	采收 率/ %	累计注 采比	累计 注入/ %PV
HAMM	0.9340	22.5	13.547	6.531	6.705	10.4	1972	48.2	2.69	94.4
SHARP	0.8984	13.4	2.180	1.049	1.511	3.7	1976	48.1	4.05	112.0
SHEPHE RANCH	0.9402	14.3	4.812	2.248	0.778	1.4	1982	46.7	4.33	39.2
SIMPSON RANCH	0.9340	19.0	1.825	0.826	0.997	7.4	1977	45.3	2.03	66.8
WAGONSPOKE	0.8871	17.0	6.095	2.722	3.428	12.6	1978	44.7	2.95	96.8
OK	0.8762	18.6	6.300	2.747	3.206	11.4	1975	43.6	2.47	79.2
KUMMERFELD	0.9340	16.5	2.019	5.170	3.845	2.5	1975	43.0	3.82	107.9

续表

项 目	原油相 对密度	孔隙 度/ %	地质储 量/ 千桶	累产 油/ 千桶	累产 水/ 千桶	水油比	开始注 聚时间	采收 率/ %	累计注 采比	累计 注入/ %PV
EDSDR	0.9279	19.6	8.673	3.340	2.296	2.4	1985	38.5	1.76	45.7
SEMI.EK.WEST	0.9100	19.4	10.322	3.877	2.328	1.8	1975	37.6	2.53	68.1
THOLSON	0.9159	17.3	9.566	3.554	5.056	2.5	1973	37.2	1.84	48.7
ROZET SE	0.9159	11.2	4.665	1.692	1.754	2.5	1984	36.3	1.79	43.3
KUEHNE RANCH	0.9159	14.4	9.250	3.211	0.494	1.7	1969	34.7	2.98	64.9
STEWART R.E	0.9279	15.7	2.009	0.679	0.589	1.9	1982	33.8	2.15	44.0
SPRING	0.9279	15.1	4.582	1.536	0.945	2.9	1983	33.5	1.90	37.4
ROZET NE		17.1	3.723	1.089	0.376	2.6	1985	29.3	1.17	23.3
KUEHNE RANCH	0.9159	16.7	9.468	2.629	3.534	6.2	1975	27.8	4.57	87.5
DEADMAN CRK	0.9159	17.2	5.871	1.356	0.971	1.5	1979	23.1	2.54	39.3
RANIBOW R.H.	0.8984	18.4	8.130	1.706	1.044	1.3	1981	21.0	1.77	24.3
VICTOR	0.9279	14.2	3.167	0.617	0.118	0.0	1987	19.5	1.04	14.4
BIG MAC	0.9218	19.3	2.646	0.514	0.017	0.3	1986	19.4	0.98	12.7
KIEHL.WEST	0.9100	23.0	1.519	0.292	0.002	0.0	1987	19.2	0.97	13.6
RIGHT A WAY	0.9340	14.4	2.094	0.378	0.001	0.0	1985	18.1	1.36	12.3
ROWNALL RANCH	0.9042	15.1	5.270	0.816	0.027	0.2	1982	15.5	1.07	14.4
LONE CEDAR	0.8984	17.0	7.724	1.189	0.025	0.3	1984	15.4	1.10	14.5
GLO.NOTH	0.9218	15.9	4.528	0.682	0.069	0.1	1987	15.1	0.65	7.2
KIEHL	0.9279	22.4	9.042	1.300	0.071	0.0	1985	14.4	0.94	8.0
SWARTZ DRAW	0.9159	15.4	4.423	0.624	0.047	0.1	1987	14.1	1.40	12.4
CANDY DRAW	0.9042	15.1	8.991	0.901	0.019	0.0	1987	12.9	0.79	6.6
BRACKRN	0.9100	16.5	1.979	0.234	0.080	1.4	1986	11.8	0.79	7.5
LILY	0.9279	19.8	5.205	0.507	0.118	0.4	1987	9.7	2.21	16.0
AMERICAN	0.9218	14.3	1.624	0.089	0.024	0.1	1988	5.5	1.25	4.6

Minnelusa 油田位于怀俄明州，主要产油层为二叠纪砂岩层，深度约为 889 ~ 2139m，原油粘度平均为 31mPa·s，相对密度平均为 0.912，油层温度为 55℃，原油地层体积系数 1.03。平均孔隙度和渗透率分别是 18% 和 0.834 μm^2 。初始油层压力为

12.355MPa, 初始含水饱和度为 31.6%。由于储层断块发育, 非均质性强, 其一次采收率较低, 为 5% ~ 15%。因此, 该油田广泛采用了化学驱提高采收率技术, 包括聚合物驱、表面活性剂 - 聚合物二元复合驱、碱 - 表面活性剂 - 聚合物三元复合驱。其注聚合物的主要方式是, 首先向低层注入阳离子聚合物, 接着注阴离子聚合物和柠檬酸铝胶联剂调整渗透率分布, 然后再接着注阴离子聚合物控制流度。聚合物段塞尺寸为 0.1 ~ 0.4 倍孔隙体积, 提高采收率的幅度比水驱平均提高 7.5%。

第二章 孤岛油田聚合物驱 适应性分析

第一节 孤岛油田的油藏特征

一、构造特征

孤岛油田构造基底是由古生界奥陶系、石炭一二迭系及中生界侏罗白垩系地层组成的古凸起，下第三系地层围绕古凸起边缘超覆沉积，上第三系披覆于凸起之上，形成继承性的发育在古生界潜山之上的大型披覆背斜构造。构造轴向近北东-南西，长15km，宽6km，闭合面积80km²，闭合差120m。构造简单，主体部分完整平缓，顶部倾角30'~1°30'，翼部倾角2°~3°，油藏埋深1120~1350m。

构造上有23条正断层，控制沉积和油气聚集的主断层有四条，其中以构造南北两条最大，走向均为北东70°向东转为近东西向。北翼1号断层倾向北西，落差自东向西由小变大，南翼2号大断层倾向南东，落差自东向西由大变小。顶部为一平台，两翼西陡东缓。2号断层以南为南区，被12条断层切隔成8个小断块，构造西端两条北东小断层构成的地堑式含油断块，地层向西倾没。

二、储集层特征

1. 油层分布特点

孤岛油田的开发目的层是上第三系的馆陶组油层，分为上、下两段。主要开发层系为上段的馆3~6砂层组，地质储量33683×10⁴t，占油田总储量的87.3%，四个砂层组共有20个含油小层，其中3³、3⁵、4²、4⁴、5³、6³六个主力油层大面积分布，地质储量24723×10⁴t，占馆3~6砂层组储量的73.4%；馆1+2砂层组划分为14个小层、447个油砂体，纯含油砂体367个，油层分布零散，地质储量2730×10⁴t，占7.1%。下馆陶油层主要分

布在中一区南部, 为含油饱和度较低的油水同层和含油水层, 划分为四个砂层组, 含油层主要在各砂层组的上部, 地质储量 $1007 \times 10^4 \text{t}$, 占 2.6%。东营组和沙河街组地质储量 $1156 \times 10^4 \text{t}$, 占 3.0%。(见表 2-1)。

表 2-1 孤岛油田油藏特征基本数据表

项 目	数 据	项 目	数 据
发现时间/(a·mon)	1968.4	地层倾角	30' ~ 1°30'
投产时间/(a·mon)	1971.11	油藏埋深/m	1120 ~ 1350
注水时间/(a·mon)	1973.4	沉积特征	河流相正韵律
含油面积/km ²	85.2	胶结方式	孔隙-接触式、接触式
有效厚度/m	28.8	粒度中值/mm	0.117 ~ 0.201
地质储量/10 ⁴ t	38578	分选系数	1.56 ~ 1.72
动用储量/10 ⁴ t	38367	泥质含量/%	8.7 ~ 10.2
注水储量/10 ⁴ t	34031	碳酸盐含量/%	1.4
可采储量/10 ⁴ t	12868	蒙脱石含量/%	57.4
采收率/%	33.4	高岭石含量/%	30.2
主要开采层位	馆陶组(Ng)	空气渗透率/ μm^2	0.51 ~ 2.40
项 目	数 据	项 目	数 据
孔隙度/%	32 ~ 35	地下密度/(g/cm ³)	0.871 ~ 0.925
含油饱和度/%	64.0	含蜡/%	4.9 ~ 7.2
渗透率级差	4.0 ~ 21.9	含硫/%	1.17 ~ 3.28
非均质系数	1.55 ~ 2.57	含沥青质/%	6.6
岩石润湿性	强亲水	含胶质/%	27.0 ~ 54.2
原始地层压力/MPa	12.5	凝固点/℃	-10.0 ~ -3.2
饱和压力/MPa	7.2 ~ 11.5	原始油气比/(m ³ /t)	20 ~ 40
原始地饱压差/MPa	1.5 ~ 2.0	地层水总矿化度/(mg/L)	2797 ~ 17768
地面粘度/(mPa·s)	250 ~ 5700	水型	NaHCO ₃ ·CaCl ₂
地下粘度/(mPa·s)	20 ~ 130	地下油水粘度比	80 ~ 350
地面密度/(mPa·s)	0.935 ~ 0.990	地温梯度/(℃/100m)	4.5

2. 沉积特征

上馆陶组油层属河流相正韵律沉积, 河流走向为东西向, 馆